

Ozonmessung in unseren Wäldern

Mit diesem Beitrag soll an die Artikel über Ozon in Heft 19 bzw. über forstliche Dauerbeobachtungsflächen in unseren Wäldern im Heft 21 angeknüpft werden. Anhand von aktuellen Ozonmessdaten, die uns der Forstbetrieb Sachsenforst von den forstlichen Dauerbeobachtungsflächen zur Verfügung stellte, wird auf die weiterhin bedenkliche Ozonsituation in unseren Wäldern verwiesen.

Ozon in der Atmosphäre

Ozon wird unter der Einwirkung der Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) durch photochemische Prozesse in der Troposphäre ständig gebildet, vorrangig aus Luftsaauerstoff und den sogenannten „Vorläuferstoffen“. Als Vorläuferstoffe werden Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (englisch: volatile organic compounds, kurz: VOC) bezeichnet. Der größte Teil von ihnen wird durch den Straßenverkehr emittiert: in Sachsen immerhin fast zwei Drittel der gesamten NO_x - und VOC-Emission.

Die Ozonbildung hängt wesentlich vom Verlauf der (von Jahr zu Jahr stark schwankenden) Witterungsbedingungen ab. Vor allem an heißen und trockenen Tagen mit starker Sonneneinstrahlung kann die Ozonkonzentration in der Luft sehr stark ansteigen und gesundheitsschädliche Konzentrationen erreichen.

Ab einer Ozonkonzentration von 160 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) im 1-Stunden-Mittelwert können subjektive Befindlichkeitsstörungen wie Husten und Schleimhautreizungen auftreten. Oberhalb von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist eine Verringerung der körperlichen Leistungsfähigkeit nicht auszuschließen. Als Zielwert ist in der 33. BImSchV^[1] ein höchster 1-Stunden-Mittelwert eines Tages von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgegeben, die Informationsschwelle für die Bevölkerung liegt bei $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Alarmschwelle bei $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Deshalb gehört Ozon neben Schwefeldioxid, Stickoxiden und Stäuben zu den wichtigsten Luftschadstoffen. Zur Überwachung unterhält der Freistaat Sachsen ein landesweit ausgerichtetes Luftmessnetz mit automatischen Multikomponenten-Messstationen, in denen gas- und partikelförmige Schadstoffkonzentrationen ermittelt werden.



Abbildung 1: Die Freifläche der forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Bad Schandau befindet sich auf Buschmüllers Räumicht.

Neben Ozon können Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), Stäube und flüchtige organischen Verbindungen gemessen werden; zusätzlich werden noch meteorologische Daten erhoben. Die Standorte der Messcontainer sind im Hinblick auf die menschliche Gesundheit so gewählt, dass eine flächendeckende Immissionsüberwachung vor allem in den Siedlungsgebieten gewährleistet werden kann. Über die Situation in den Mittelgebirgen geben die Daten einiger ausgewählter Messstationen, wie am Fichtelberg, am Schwartenberg oder in Zinnwald Auskunft.

Die Schadstoffkonzentrationen werden kontinuierlich erfasst und können jederzeit im Internetportal des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie abgerufen werden^[2]. Halbstunden- und Stundenmittelwerte erlauben das zeitnahe Erfassen kurzzeitiger Spitzenwerte, wie sie gerade beim Ozon besonders in den Mittagsstunden an sonnigen Sommertagen auftreten.

Auf Grund spezieller Reaktionsmechanismen wird Ozon durch hohe Stickstoffoxid-Konzentrationen wieder abgebaut. Die Ozonkonzentration sinkt daher aufgrund erhöhter NO -Emissionen aus dem Straßenverkehr in den Ballungsgebieten (vor allem über Nacht) stärker ab als im ländlichen Raum. Daher ist es nicht verwunderlich, dass in den walddreichen Mittelgebirgslagen im Jahresmittel eine merklich höhere Ozonkonzentration als in den

Ballungsräumen gemessen wird. Die Ozonjahresmittelwerte der Stationen Zinnwald, Schwartenberg und Olbernhau liegen deutlich über den Werten für Bautzen (Stadt) und Radebeul-Wahnsdorf.

Ozon in unseren Wäldern

Die Pflanzen nehmen Ozon über die Spaltöffnungen in den Blättern auf. Die Aufnahmemenge wird durch die Öffnungsweite dieser Poren bestimmt. Wie weit sich die Poren öffnen, ist unter anderem von der Luftfeuchtigkeit sowie den Licht- und Temperaturverhältnissen abhängig. Das aufgenommene Ozon reagiert direkt mit Bestandteilen der umliegenden Zellmembranen und führt dort zu Schädigungen. Da die wichtigsten physiologischen Prozesse einer Pflanze – Atmung und Photosynthese – an den Zellmembranen stattfinden, beeinträchtigt von der Pflanze aufgenommenes Ozon die Atmungs- und Photosyntheseabläufe und somit das Wachstum.

Ist die Vitalität der Pflanzen ohnehin durch Trockenheit, Nährstoffmangel oder ähnliches beeinträchtigt, wirkt sich Ozon besonders nachteilig aus. Ein krankes Lebewesen ist generell geschwächt und anfällig gegenüber weiteren Umwelteinflüssen.

Laubbäume verlieren durch die Ozoneinwirkung ihre Blätter schneller und die Herbstverfärbung kann vier bis sechs Wochen früher als normal einsetzen. Auch die in letzter Zeit viel häufigere Fruktifikation (Ausbildung von Früchten) an Bäumen (s. auch SSI-Heft 25) kann damit in Zusammenhang gebracht werden. Weniger Blattmasse bedeutet schlechter Kronenzustand. Dadurch, aber auch durch verstärkten Schädlingsbefall, signalisieren uns die Bäume Stress. Tritt dieser Stress Jahr für Jahr auf, wird die Lebenskraft geschwächt, die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten erhöht und das Wachstum negativ beeinflusst.

Bereits ab 65 Mikrogramm Ozon im Tagesmittel können Vegetationsschäden auftreten. Als Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation galten bisher: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stunden-Mittelwert) und 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24-Stunden-Mittelwert).

Nach derzeitigem Wissensstand muss davon ausgegangen werden, dass (auch kurzzeitige) Ozon-Spitzenkonzentrationen stärkere Pflanzenschäden verursachen. Daher wurde der sogenannte AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) als kumulativer Belastungswert geschaffen. Hier werden alle Überschreitungen des 1-Stunden-Mittelwertes von 40 ppb Ozon (entspricht 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) während der Vegetationsperiode (von Mai bis Juli) aufsummiert. Der AOT40-Wert berücksichtigt so alle Ozonspitzenwerte über 40 ppb (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sowie die Dauer der Belastung. Nach der EG-Richtlinie 2002/3/EG gilt als Zielwert für den Schutz der Vegetation ein AOT40 von 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$, gemittelt über 5 Jahre, der bis zum Jahr 2010 zu erreichen ist.

Die Einhaltung dieser Richtlinie setzt allerdings voraus, dass man weiß, welche Ozonkonzentration auch wirklich vor Ort im Wald vorhanden ist.

Ozonmessung auf den forstlichen Dauerbeobachtungsflächen

Für Aussagen zur Ozonsituation in den Wäldern, speziell an den forstlichen Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen, sind aufgrund der komplexen Auf- und Abbauprozesse von Ozon die Messdaten des staatlichen Messnetzes nur bedingt aussagekräftig. So kann man anhand der Ozonwerte von der Messstation Zinnwald auf die Ozonkonzentration auf der Dauerbeobachtungsfläche Altenberg schließen, vielleicht auch noch die Werte von der Station Schwartenberg auf die Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau anwenden, aber für die Ozonbelastung der anderen Waldflächen, unter anderem auch bei Cunnersdorf und Bad Schandau im Elbsandsteingebirge gibt es keine nahegelegene Luft-Messstation. Ein Betrieb kontinuierlich arbeitender automatischer Messstationen auf den forstlichen Flächen ist nicht nur aus Kostengründen unmöglich, sondern auch wegen der im Wald fehlenden Stromversorgung.

Um trotzdem zu belegen, welchen Ozonkonzentrationen die Vegetation in unseren Wäldern während der Vegetationsperiode ausgesetzt ist, werden europaweit (und seit dem Jahre 2003 auch auf den sächsischen forstlichen Dauerbeobachtungsflächen) Ozonmessungen mittels Passivsammlern durchgeführt.

Das Messprinzip ist einfach und genial: Ein mit einer speziellen Substanz imprägnierter Filter wird (vor Witterungseinflüssen geschützt) auf der Waldfläche angebracht. Das Schadgas wird am Filter adsorbiert, bzw. es findet dort eine Chemisorption statt. Je nach Menge des in diesem Zeitraum vor Ort vorhandenen Ozons wird die betreffende Substanz unterschiedlich stark oxidiert. Das Reaktionsprodukt auf dem Filter kann im Labor quantitativ bestimmt werden. Man kann mit dieser Methode die



Abbildung 2: Passivsammler in der Transportverpackung

gesamte Ozonmenge erfassen, die in dem bestimmten Zeitraum der Exposition des Filters am Messort auf die Vegetation einwirkte.

Der Wechsel der Filter der Passivsammler erfolgte auf den Forstflächen monatlich, ab 2009 wird auf ausgewählten Flächen zwischen dem 1. April und 30. September auf einen zweiwöchentlichen Turnus umgestellt.

Neben Ozon können auf diese Art auch andere Schadgasmengen (Schwefeldioxid, Ammoniak und Stickstoffdioxid) ermittelt werden.

Anmerkungen:

1. Bei Vergleichsuntersuchungen konnte eine gute Übereinstimmung der mittleren Ozonwerte nachgewiesen werden, die am gleichen Standort an der kontinuierlichen Messtation (UV-Messung) und mittels Passivsammler gemessen wurden.

2. Derartige Passivsammler werden auch in Innenräumen bzw. zur Schadgaskontrolle an Arbeitsplätzen eingesetzt.

Ergebnisse der Ozonmessungen auf forstlichen Dauerbeobachtungsflächen

Schauen wir uns nun die Ergebnisse der Ozon-Messungen an ausgewählten forstlichen Dauerbeobachtungsflächen in Sachsen an. Zur Auswertung standen die mittels Passivsammler während eines Monats erhaltenen Ozonkonzentrationen (in $\mu\text{g Ozon}/\text{m}^3$) zur Verfügung. Diese Monatsmittelwerte geben Auskunft über die Ozonmenge, welcher die Vegetation innerhalb eines Monats auf den jeweiligen Flächen ausgesetzt war. Aussagen zu einzelnen Spitzenwerten, wie sie an heißen Sonnentagen oft auftreten, sind mit dieser Methode nicht möglich.

Im Diagramm 1 sind die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration an den forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Altenberg, Olbernhau, Cunnersdorf, Bad Schandau und Bautzen für die Jahre 2003–2008

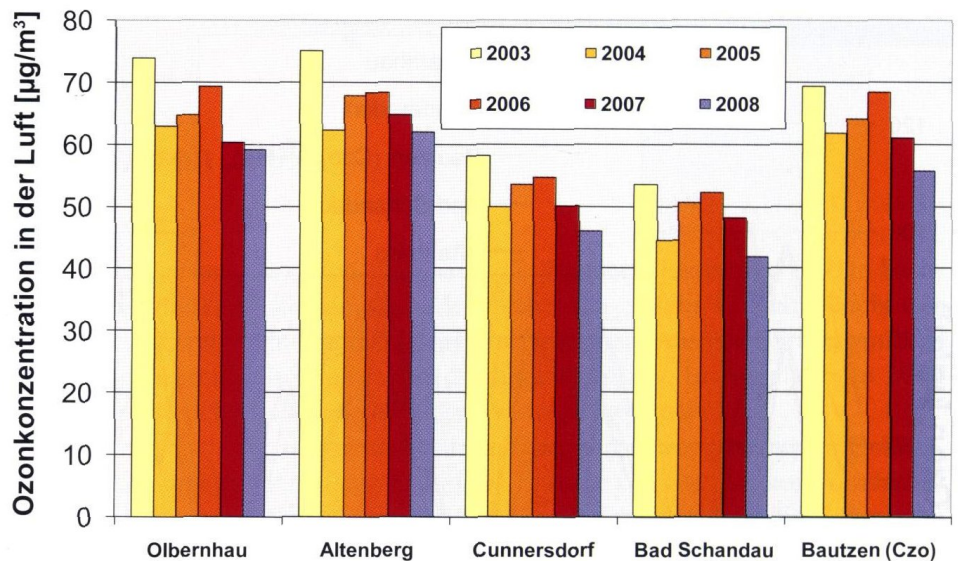


Diagramm 1: Jahresmittel der Ozonkonzentration an ausgewählten forstlichen Dauerbeobachtungsflächen, ermittelt mit Passivsammlern

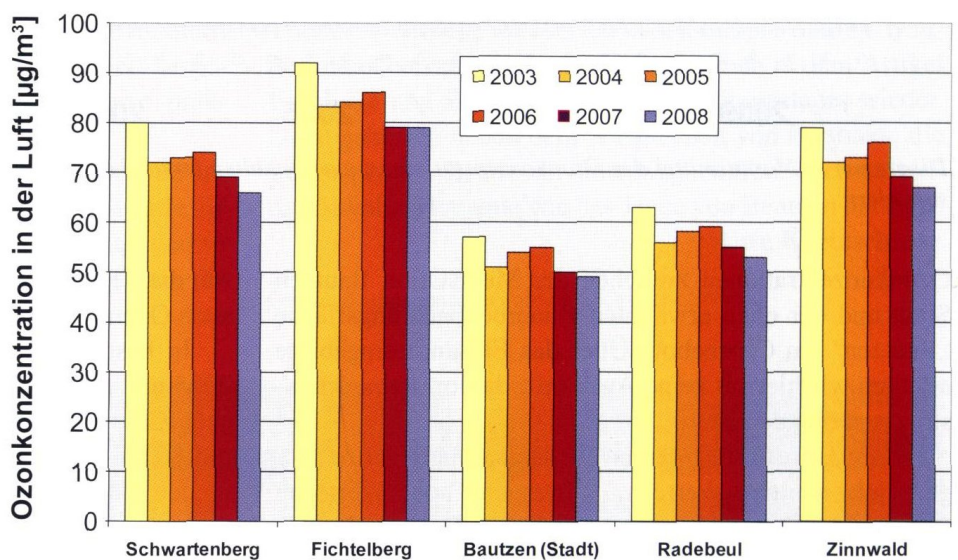


Diagramm 2: Jahresmittel der Ozonkonzentration an ausgewählten Messstationen des Sächsischen Luftmessnetzes

dargestellt. Die Ozonkonzentrationen an den beiden Stationen im Elbsandsteingebirge liegen deutlich unter den Werten für das Erzgebirge, aber auch noch unterhalb der Konzentration im Lausitzer Bergland (die Station Bautzen befindet sich in 440 m Höhe am Czornewoh). Die höchsten Ozon-Jahresmittel wurden in den besonders heißen und trockenen Jahren 2003 und 2006 gemessen.

Vergleicht man dazu die Ozon-Messwerte von ausgewählten Messstationen des staatlichen Luftmessnetzes (Diagramm 2) zeigen auch diese Jahresmittelwerte an ähnlich gelegenen Stationen einen ähnlichen Trend. Allerdings sieht man einen deutlichen Unterschied in den

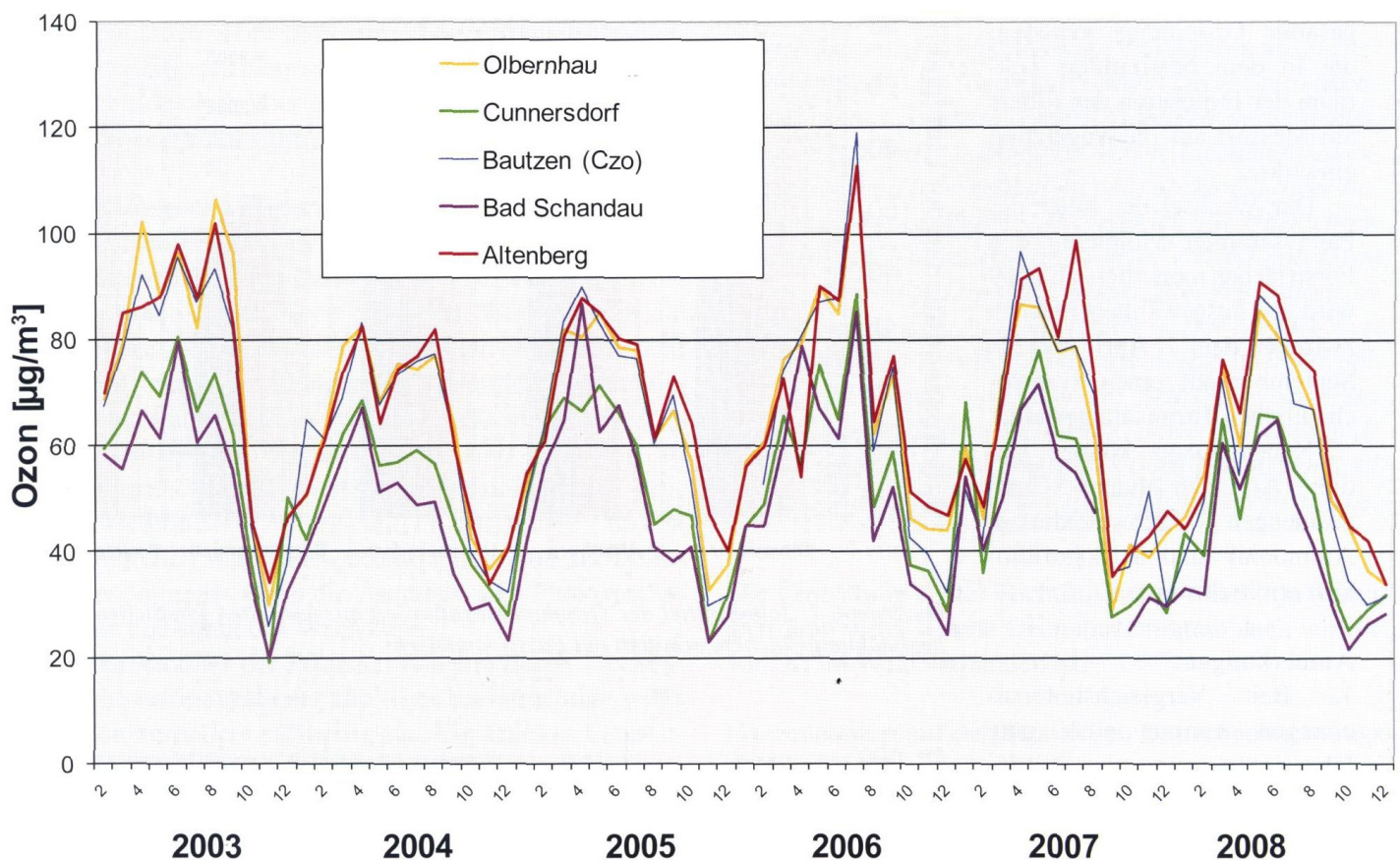


Diagramm 3: Monatsmittel der Ozonkonzentration an ausgewählten forstlichen Dauerbeobachtungsflächen ermittelt mit Passivsammlern

Ozonkonzentrationen zwischen der Messstation Bautzen Stadt und der oben erwähnten Dauerbeobachtungsfläche „Bautzen“ am Czarneboh. Über das Elbsandsteingebirge erhalten wir hiermit keine Auskunft, da dort keine Messstation vorhanden ist.

Beim Jahresmittel werden die Daten übers ganze Jahr gemittelt, niedrige Werte im Winter und hohe Werte im Sommer ergeben einen mittleren Level. Bezüglich einer Ozonwirkung auf Pflanzen ist jedoch die Vegetationsperiode entscheidend, besonders die Monate Mai–Juli.

Betrachtet man die Monatsmittel, dargestellt in Diagramm 3, sieht man deutlich den typischen Jahresgang der Ozonkonzentration: geringe Werte im Winter, ein Anstieg im Frühjahr und hohe Werte während der Vegetationsperiode. In den Sommermonaten fallen immer wieder Spitzenwerte auf, die durch lange sonnige Perioden hervorgerufen wurden. Während laut Jahresmittelwerten (Diagramm 1) eine Ozonkonzentration von $65 \mu\text{g Ozon/m}^3$ nur im Erzgebirge überschritten wird und eine Konzentration von $80 \mu\text{g Ozon/m}^3$ generell nicht erreicht wird, zeigen die Monatsmittelwerte in den Sommermonaten durchaus Überschreitungen von $80 \mu\text{g Ozon/m}^3$, besonders im Erzgebirge. Hier

war die Vegetation in den Sommermonaten 2003 und 2006 auch Ozonwerten über $100 \mu\text{g Ozon/m}^3$ ausgesetzt.

In besonders heißen Monaten (wie Juni 2003, April 2005 und Juli 2006) wurden allerdings auch auf den Flächen Cunnersdorf und Bad Schandau Monatsmittelwerte um $80 \mu\text{g Ozon/m}^3$ gemessen. In Anbetracht einer eventuellen Zunahme trockener heißer Sommer mit starker Sonneneinstrahlung wird auch in Zukunft die Ozonkonzentration in der Luft unseren Wäldern zu schaffen machen.

Durch Verkürzung der Expositionszeiten eines Filters auf zwei Wochen wird zukünftig eine noch bessere Erfassung von Spitzenwerten möglich sein. Zusätzlich ist ein Monitoring ozonsensitiver Pflanzen auf den forstlichen Dauerbeobachtungsflächen angedacht, wodurch Pflanzenschädigungen durch Ozon auch visuell verfolgt werden sollen. Es gibt auch bereits Untersuchungen zum direkten Zusammenhang von Ozonkonzentration und Wachstum von Bäumen (anhand der Jahresringe).

Elke Kellmann

[1] 33. Bundes-Immissionsschutzverordnung

[2] Informationen zu Luftgütedaten unter www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/index.asp